

УДК 678.4.023

Т. Н. Кухта<sup>1</sup>, Н. Р. Прокопчук<sup>2</sup><sup>1</sup>Институт БелНИИС<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет**ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ  
ИЗ ПОРОШКОВЫХ ПОЛИЭФИРНЫХ КРАСОК**

Исследовано изменение физико-механических свойств порошковых полиэфирных красок под воздействием УФ-излучения. Выявлена закономерность изменения свойств красок в зависимости от химического строения применяемого пигмента. На основе результатов исследования разработаны порошковые полиэфирные краски различного цвета, обладающие повышенной стойкостью к воздействию погодных условий.

**Ключевые слова:** полиэфирная краска, УФ-излучение, пигмент.

T. N. Kuhta<sup>1</sup>, N. R. Prokopchuk<sup>2</sup><sup>1</sup>Institute BelNIIS<sup>2</sup>Belarusian State Technological University**PERFORMANCE OF COATINGS POLYESTER POWDER PAINT**

The change of physical-mechanical properties of powder polyester paints under the influence of UV radiation was investigated. The regularity of changes in the properties of paints depends on the chemical structure of the pigment used. On the basis of results of the research powder polyester paints of different colors, highly resistant to weathering were developed.

**Key words:** polyester paint, UV radiation, the pigment.

**Введение.** К важнейшим эксплуатационным свойствам лакокрасочных покрытий относятся: физико-механические (прочность при ударе, прочность при изгибе, адгезия, твердость, износостойкость); декоративные (сохранение первоначального внешнего вида, цвета, блеска, устойчивость к мелению); антикоррозионные (устойчивость к воде и водным растворам солей, кислот, щелочей, солевому туману); атмосферостойкость (способность противостоять климатическим факторам). Результаты исследования климатической стойкости покрытий из порошковых полиэфирных красок различных цветов опубликованы ранее [1].

В состав порошковых красок входят: пленкообразующие (олигомеры), отвердители, ускорители отверждения, наполнители, пигменты и добавки. Порошковые краски могут быть как цветные, так и бесцветные. Пигмент является тем компонентом любой краски, который отвечает за цвет и его устойчивость. Чем качественнее пигмент, тем дольше окрашенная поверхность сохранит свой изначальный вид. Порошковые краски, которые не имеют цвета, именуются лаками.

Состав и технология получения разработанной полиэфирной порошковой краски были рассмотрены в работе [2].

При проведении испытаний эксплуатационных свойств покрытий из полиэфирных порошковых красок были исследованы краски с различными пигментами.

При выборе пигментов руководствовались следующими соображениями. Фталоцианино-

вые пигменты универсальны, пригодны для окрашивания любых полимерных материалов. Исключительная стойкость и относительно низкая стоимость обеспечивают им широкое применение и тенденцию к вытеснению других синих и зеленых пигментов. Синие и зеленые фталоцианиновые пигменты отличаются превосходными пигментными свойствами. Синий пигмент имеет укрывистость 4–5 г/м<sup>2</sup>, по красящей способности в 2–3 раза превосходит железную лазурь, термостоек до 200°C, светостоек, устойчив к кислотам, щелочам, всем видам пленкообразователей, pH = 6–9 (водной вытяжки), плотность 1,62 г/см<sup>3</sup>. Зеленый фталоцианиновый пигмент в отличие от синего содержит в молекуле 14–15 атомов хлора, заместивших атомы водорода на наружных гранях кристаллов. Ярко-зеленый цвет имеет β-форма пигмента. Отличается исключительно высокой стойкостью к любым воздействиям, но имеет меньшую красящую способность, чем синий, pH = 6–9 (водной вытяжки), плотность 2,14 г/см<sup>3</sup>.

Белый пигмент – диоксид титана рутильной кристаллической формы, более атмосферостойкой, чем анатазной формы. Рутильный TiO<sub>2</sub> примерно на 30% более укрывистый, чем анатазный.

Диоксид титана химически инертен: не растворяется в слабых кислотах и щелочах, органических растворителях.

Черный пигмент – технический углерод (сажа), плотность 2,0–2,2 г/см<sup>3</sup>, насыпная плотность 80–150 кг/м<sup>3</sup>, укрывистость 3–6 г/м<sup>2</sup>, pH = 2–6 (водной вытяжки).

Технический углерод термостоек, стоек к действию кислот и щелочей. Для устранения пыления и повышения насыпной плотности технический углерод гранулируют.

Красный пигмент – дикетопирроло-пиррол относится к классу полициклических пигментов. Он стоек к высоким и низким температурам, обладает хорошей химической, световой и атмосферостойкостью.

Краски, изготовленные на органических пигментах, обладают низкой кроющей способностью, поэтому при наполнении эти пигменты следует применять в смеси с неорганическими пигментами или с наполнителями, чаще всего с диоксидом титана или баритом.

Оптимальное содержание цветных (органических или неорганических) пигментов в композициях колеблется (в зависимости от интенсивности и требуемого цвета покрытий) от долей процента до нескольких процентов.

**Основная часть.** Подготовку подложек для нанесения красок, а также получение защитных покрытий проводили в соответствии с ГОСТ 8832–76.

Стальные пластины предварительно очищали и обезжиривали ацетоном (ксилолом) и мягкой ветошью, зашкуривали шлифовальной шкуркой величиной зерна 5 или 4 и снова очищали органическим растворителем, высушивали при необходимости в термошкафу.

Стеклянные пластины очищали органическим растворителем и ветошью, прокаливали в термошкафу при температуре 120°C.

Твердость и блеск покрытия определяли на стеклянных пластинках специального назначения размером 90×120 мм и толщиной 1,2–2,0 мм. Эластичность покрытия при изгибе определяли на пластинках из черной жести размером 20×150 мм и толщиной 0,8–1,0 мм.

В качестве подложки использовали образцы асбестоцементного шифера размером 200×150 мм производства ПРУП «Кричевцементношифер».

Поверхность асбестоцементного шифера очищали механическим путем от пыли и посторонних включений.

Образцы асбестоцементного шифера предварительно перед нанесением порошковой краски прогревали в шкафу при температуре воздуха 180°C в течение 30 мин, затем поверхность охлаждали до 50°C. Предварительный прогрев необходим для лучшего уменьшения содержания воздуха в порах и лучшей адгезии порошковой краски на поверхности. Краску наносили на лицевую поверхность в два слоя методом электростатического распыления пистолетом-распылителем «Старт-50». Образцы металла окрашивались порошковой краской в один слой, без предварительного прогрева.

Для формирования покрытия использовали шкаф сушильный ШС-80.

Отверждение порошковой краски проводили при температуре окрашиваемой поверхности 180°C и времени нахождения образцов в печи – 20 мин.

Толщина покрытия после отверждения составляла 60–80 мкм на металле.

Толщину покрытия на стальных и жестяных пластинках измеряли портативным цифровым электромагнитным толщиномером Константа-К5 (АО «Константа», Российская Федерация).

На стеклянных пластинах толщину покрытия определяли измерением толщины микрометром МР-25 по ГОСТ 4381–87 с погрешностью ±3 мкм, отделением части покрытия от стекла и измерением толщины пластины в этом же месте без покрытия. За результат измерения принимали среднее арифметическое из 5–6 определений. Эксплуатационные свойства покрытий определяли: адгезию по ГОСТ 15140–784 (ISO 2409); прочность на истирание по ГОСТ 8747–88; прочность при ударе по ГОСТ 4765–73 (ISO 6272); прочность при изгибе по ГОСТ 6806–73 (ISO 1519); твердость по Бухгольцу по DIN 53153, ISO 2815; блеск по ГОСТ 896–69 (ISO 2813); цветоустойчивость по ГОСТ 11583–74, СТБ 1118–98 (изм. №1); стойкость к воздействию соляного тумана по ГОСТ 9.308–85 (ISO 9227); влагостойкость по ГОСТ 9.401–91 (ISO 6270); растяжение по Эриксену по ISO 1520, DIN 53153.

Поскольку одним из основных разрушающих факторов защитных покрытий, эксплуатирующихся в атмосферных условиях, является в основном действие ультрафиолетовой солнечной радиации, то оценивалось ее влияние на изменение свойств покрытий из порошковых красок с различными пигментами.

В данной работе исследовали влияние УФ-излучения на покрытия пяти составов полиэфирных порошковых красок с различными пигментами на металлической подложке, а также покрытия трех составов полиэфирных порошковых красок с различными пигментами на асбестоцементном шифере.

С этой целью образцы с полимерным покрытием облучались имитационным излучателем S 1200 (Германия) в течение 1200 и 2400 ч. Энергия облучения составляла соответственно 4786 и 9572 МДж/м<sup>2</sup> при суммарном интегральном потоке 1107,7 Вт/м<sup>2</sup>.

Первоначальный блеск у полимерных покрытий различных цветов характеризуется следующими значениями, %: красный – 80,1; зеленый – 85,6; синий – 82,7; белый – 94; черный – 89,6. Установлено изменение блеска покрытий различных цветов после их УФ-облучения в течение 1200 и 2400 ч, результаты представлены на рис. 1.

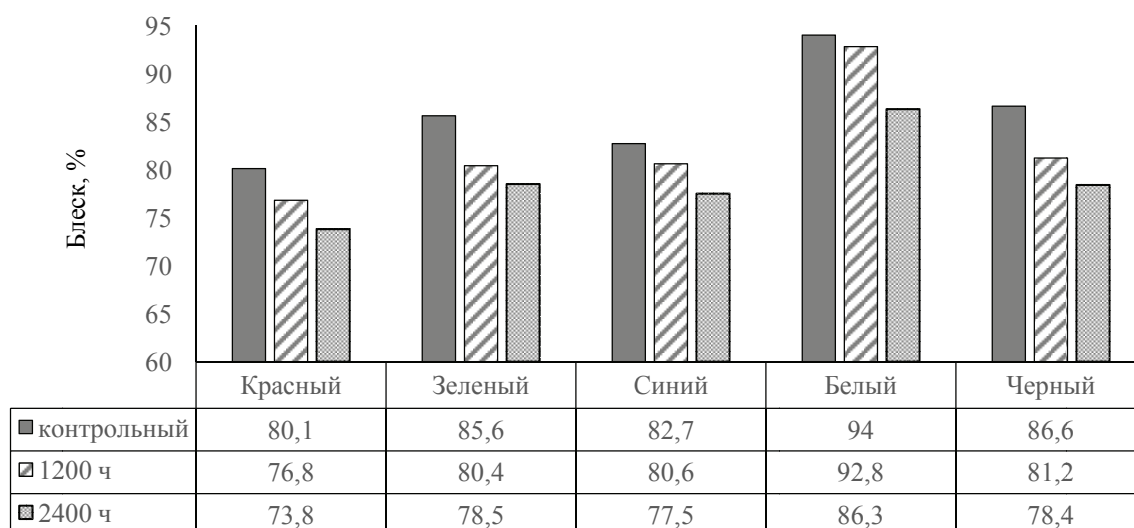


Рис. 1. Изменение блеска полимерных покрытий после УФ-облучения под углом 60°

По данным исследования изменение блеска покрытий происходило следующим образом.

После 1200 ч облучения блеск покрытий незначительно снижается у пленок белого и синего цвета соответственно на 1,2 и 2,5%. На 4,2% блеск снизился у покрытия красного цвета. Для покрытия зеленого и черного цвета снижение блеска составляет 6,1%.

Спустя 2400 ч УФ-облучения изменение блеска покрытий произошло следующим образом. Наибольшее снижение блеска произошло у покрытия черного цвета – 9,4%, у белого и зеленого оказалось одинаковым – 8,2%, у красного – 7,9%, у синего – 6,3%.

В среднем для всех образцов потеря блеска составила, по сравнению с необлученными, менее 10%, что соответствует требованиям, предъявляемым к порошковым краскам.

Анализ полученных результатов подтверждается данными [3]. В процессе длительной

эксплуатации в атмосферных условиях при световом воздействии вследствие фотохимической активности пигментов происходит образование слоя деструктурированного пленкообразователя вокруг пигментных частиц, что приводит к эрозии покрытия – мелению. Этот макропроцесс контролируют по изменению блеска покрытий в процессе старения.

Цветоустойчивость является важным параметром для красок, где в первую очередь речь идет о стабильности белого и цветных пигментов. Метод основан на определении координат цвета испытуемых образцов с помощью компаратора цвета и расчете цветовых различий между исходным образцом и образцом, подвергнутым световому облучению.

Значения цветовых (колориметрических) характеристик  $\Delta E$  ( $\Delta L$ ,  $\Delta a$ ,  $\Delta b$ ), представленные на рис. 2, свидетельствуют о высокой цветоустойчивости всех пигментов.

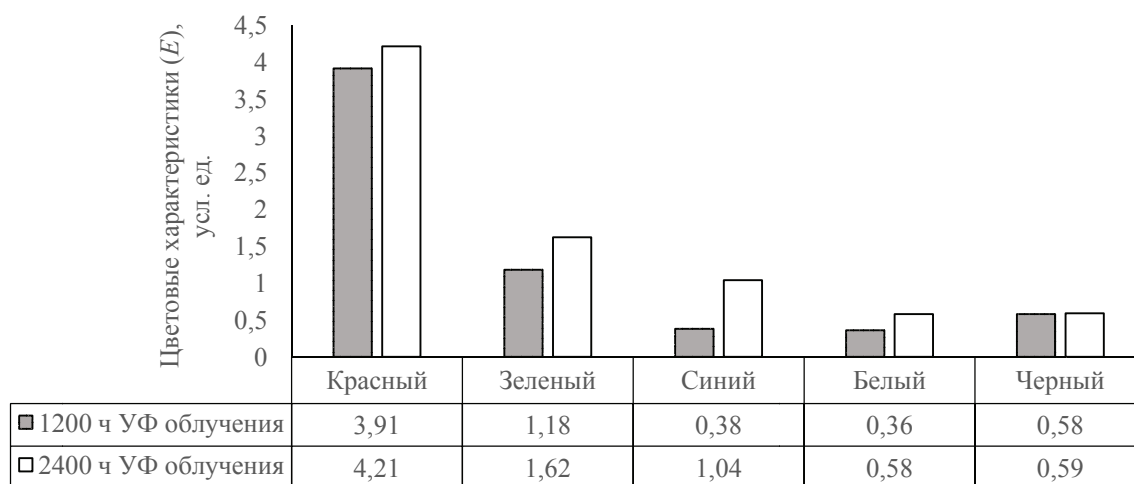


Рис. 2. Цветоустойчивость полимерных покрытий после УФ-облучения

Значения  $\Delta E$  после 1200 ч УФ-облучения для красного, зеленого, синего, белого и черного цветов составляют соответственно: 3,91; 1,18; 0,38; 0,36; 0,58 усл. ед., а после 2400 ч УФ-облучения – 4,21; 1,62; 1,04; 0,58; 0,59 усл. ед. Величина  $\Delta E$  не превышает четырех порогов цветоразличия, за исключением красного цвета после 2400 ч облучения.

Следовательно, использованные нами пигменты, выполняющие декоративные функции в покрытиях, обладают необходимой стойкостью (способностью сохранять постоянство цвета, блеска, яркости при воздействии света [3]). Устойчивость пигментов к фотохимической деградации зависит как от их молекулярной структуры, так и от химической природы пленкообразователя, в котором они распределены. В нашем случае при одном и том же пленкообразователе, светостойкость пигментов существенно связана с их отражающей способностью, главным образом в коротковолновой части видимого спектра и в УФ-областях. Сажа сильно поглощает в видимой области, но хорошо отражает в ультрафиолетовой и поэтому является одним из наиболее светостойких пигментов. Двуокись титана сильно поглощает в УФ-области и поэтому ее светостойкость снижается при длительном облучении.

Помимо химического строения на светостойкость пигментов влияет кристаллическая структура и дисперсность.

Крупнокристаллическая структура пигментов более светостойкая, т. к. углы и ребра в мелких кристаллах образуют большее количество начальных центров реакций фотодеструкции [4].

Причиной высокой светостойкости фталоцианиновых пигментов является симметричное строение их молекул, которые состоят из четырех остатков изоиндола, образующих замкнутое 16-членное кольцо. Расположенный в центре молекулы атом меди, связанный ковалентными и координационными связями с атомами азота, оказывает стабилизирующее действие на всю молекулу [5]. Центральный атом меди в кристаллах  $\beta$ -формы синего пигмента обладает октаэдрической координацией с выше- и нижележащими ароматическими и циклическими фрагментами молекулы, поэтому внутримолекулярные воздействия сильнее и светостойкость выше, чем у  $\alpha$ -формы.

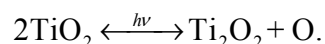
Зеленый фталоцианиновый пигмент, в отличие от синего, содержит в молекуле 14–15 атомов хлора, замещающих атомы водорода на наружных гранях кристаллов, что придает поверхности некоторую гидрофильность при сохранении высокой светостойкости [5].

Известно [4, 5], что введение пигментов повышает светостойкость лакокрасочных покрытий за счет перекрывания световых лучей путем их отражения, поглощения или рассеяния. В результате этого пленкообразователь, находящийся под слоем пигментных частиц, не подвергается действию света и не стареет. Особенно эффективны в этом отношении листовидные пигменты, имеющие чешуйчатую форму частиц (алюминиевая пудра, слюда).

С другой стороны, для многих пигментов характерно проявление фотохимической активности по отношению к пленкообразователям. Это вызывает ускоренное старение покрытий, протекающее по следующим двум механизмам.

**Фотомеханизм.** Стойкость непигментированных полимерных покрытий к светостарению сравнительно высока. Так как обычное солнечное излучение (видимая часть спектра,  $\lambda = 370\text{--}720$  нм) не обладает энергией, необходимой для быстрого разрушения химических связей пленкообразователя. Иная картина наблюдается в пигментированных покрытиях. В фотохимически активных пигментах под действием излучения  $\lambda = 370\text{--}720$  нм (дневной свет) происходит массовый переход электронов на более высокий энергетический уровень. При обратном переходе электронов испускаются электромагнитные колебания с  $\lambda < 370$  нм, разрушающие пленкообразователь, находящийся в непосредственной близости к поверхности пигмента.

**Фотохимический механизм.** Под действием света некоторые пигменты обладают способностью восстанавливаться с выделением окислителя, который вызывает окислительную деструкцию пленкообразователя:



В результате деструкции пленкообразователя вокруг пигментных частиц появляется зона разрушенного пленкообразователя и наблюдается выкрашивание пигментных частиц из покрытия при незначительных истирающих воздействиях – меление, что приводит к резкому падению защитно-декоративных и механических свойств лакокрасочного покрытия.

Фотохимическая активность (ФХА) пигментов зависит от их химической природы, размера и формы частиц, параметров кристаллической решетки и ее дефектности. Влияние дисперсности обусловлено изменением площади поверхности, на которой протекают фотохимические реакции в пигментированном покрытии.

Например, для оксида цинка оптимальной формой частиц является игольчатая.

Влияние параметров кристаллической решетки, примесей, дефектов обусловлено изменением энергии электронных переходов. Пигменты, имеющие плотные кристаллические решетки, минимальное количество дефектов и примесей имеют минимальную ФХА. С целью уменьшения ФХА проводят обработку поверхности пигментов солями и оксидами тяжелых металлов (Zn, Ca, Al, Cu и др.). Пигменты, обладающие повышенной ФХА (анатазный оксид титана), ускоряют разрушение покрытий, напротив, пигменты, экранирующие излучение (технический углерод), задерживают старение [4–6]. Разрушение покрытий под действием солнечного света начинается с поверхностного слоя. При определении спектрального распределения энергии излучения, поглощаемой покрытием под действием солнечного света, было установлено, что около 90% энергии ультрафиолетового излучения поглощается в поверхностном слое толщиной 5–10 мкм [7].

При старении пигментированных покрытий процессы структурообразования приводят к агрегированию пигментных частиц и возникновению значительных напряжений вокруг крупных агрегатов.

Наиболее вероятно протекание процессов фотоокисления на границах структурных образований. В связи с этим рост внутренних напряжений приводит к увеличению числа разрывов макромолекул, увеличению реакции распада радикалов, что способствует разрушению покрытий [7] и снижению их физико-механических свойств.

Проведены испытания по изменению свойств полимерного покрытия после светового старения. Физико-механические свойства полимерного покрытия на металлических пластинах оценивали по следующим показателям: твердость покрытия по Бухгольцу; адгезия; прочность при ударе; прочность при растяжении по Эриксену, результаты представлены в табл. 1. Анализ данных табл. 1 показывает следующее.

По данным испытаний после 1200 ч облучения снижение прочности при ударе произошло у всех покрытий. Для покрытий красного, зеленого, синего цвета данный показатель снизился на 12,2; 14,3; 13,3% соответственно, у белого и черного цвета на 33 и 23%.

При увеличении времени облучения в два раза до 2400 ч также произошло снижение прочности при ударе в два раза у покрытий красного, зеленого и синего цвета, для покрытий белого и черного цвета данный показатель уменьшился в 1,5 раза.

Следует отметить, что полимерные покрытия являются стойкими к удару с высоты от 60 до 100 см, что намного превышает значение, заложенное в технических требованиях (не менее 50 см).

Обратим внимание, что прочность пленки при ударе является стандартизованным показателем. Этот показатель входит в технические требования практически на все лакокрасочные материалы.

Ударопрочность покрытий является динамической твердостью покрытия, а прочность покрытия при растяжении – статическая твердость покрытия.

Таблица 1

**Изменение физико-механических свойств покрытий разных цветов при воздействии УФ-облучения**

Наименование показателя	Цвет покрытия				
	красный	зеленый	синий	белый	черный
Прочность при ударе, см:					
– контрольный образец	100	70	75	60	65
– после 1200 ч УФ-облучения	100	60	70	40	50
– после 2400 ч УФ-облучения	100	50	50	40	45
Прочность при растяжении по Эриксену, мм:					
– контрольный образец	10,9	10,0	8,9	9,8	8,2
– после 1200 ч УФ-облучения	10,2	9,0	8,1	9,4	7,6
– после 2400 ч УФ-облучения	9,4	7,5	7,2	8,9	6,9
Сопротивление вдавливанию по Бухгольцу (твердость), усл. ед.:					
– контрольный образец	90,9	90,5	90,9	76,9	83,3
– после 1200 ч УФ-облучения	84,2	73,4	89,3	70,8	70,5
– после 2400 ч УФ-облучения	76,9	71,4	88,9	66,7	62,5
Адгезия, балл:					
– контрольный образец	1	1	1	1	1
– после 1200 ч УФ-облучения	1	1	1	1	1
– после 2400 ч УФ-облучения	1	1	1	1	1

Одной из главных характеристик, определяющих эксплуатационную долговечность и антикоррозионную защиту любого покрытия, является прочность покрытия при деформации изделий.

Испытание покрытия вытяжкой на приборе штамп Эриксона является одним из главных в комплексе испытаний. В процессе выдавливания металлической пластины имитируются статические нагрузки, действующие на покрытие в процессе его эксплуатации.

Результаты испытаний покрытий по показателю «прочности при растяжении по Эриксону» после 1200 ч облучения следующие. У покрытий красного, зеленого, синего, белого, черного цветов данный показатель снизился соответственно на 6,4; 10,0; 8,9; 4,1; 7,3%. С увеличением времени облучения до 2400 ч снижение прочности при растяжении по Эриксону для всех образцов выглядит следующим образом: у покрытий красного, зеленого, синего, белого, черного цветов произошло уменьшение показателя соответственно на 13,8; 25,0; 19,1; 9,2; 15,8% в сравнении с контрольными образцами.

По данным испытаний по определению твердости по Бухгольцу у покрытий всех цветов также наблюдается снижение данного показателя после облучения (табл. 1).

Анализ полученных результатов (табл. 1) показывает, что изменение прочностных показателей покрытий связано с началом разрушения покрытий. В результате светового старения покрытий наиболее вероятно протекание процессов фотоокисления на границах структурных образований. В связи с этим рост внутренних напряжений приводит к увеличению числа разрывов макромолекул, увеличению реакции распада радикалов, что способствует разрушению покрытий [7] и снижению их физико-механических свойств.

Адгезию рассматривают как результат процесса образования на поверхности подложки ориентированного слоя молекул пленкообразующих веществ. Образование ориентированного слоя происходит вследствие адсорбции поверхностью концов молекул пленкообразователя, и адгезия в этом случае повышается при увеличении степени полярности молекул пленкообразующих веществ.

На адгезионную прочность в лакокрасочных покрытиях оказывают влияние внутренние напряжения: чем выше их значение, тем ниже показатель адгезии.

Результаты испытаний по определению адгезии контрольных покрытий и покрытий после УФ-облучения не показали снижения данного показателя.

Все контрольные испытанные образцы имеют адгезию, равную нулю (ISO 2409).

Из данных по антикоррозионной стойкости покрытий из порошковой полиэфирной краски отечественного производства (табл. 2) следует, что покрытие обладает высокой влагостойкостью: оно не претерпело визуальных изменений после экспозиции в течение 1000 ч в камере искусственного климата при 40°C и поддержанием конденсации атмосферной влаги на нем.

Таблица 2

**Антикоррозионная стойкость покрытия  
по металлу из порошковой полиэфирной краски  
ППК-01 RAL9005 ТУ ВУ 100230600.006-2012**

Наименование показателя	Значение показателя	Методы испытаний
Влагостойкость при (40 ± 2)°С, после 1000 ч,	Без изменений	ГОСТ 9.401–91
Стойкость к статическому воздействию жидкостей при (20 ± 2)°С, после 500 ч:		
– вода	Без изменений	ГОСТ 9.403–80
– 5%-ный р-р NaCl	Без изменений	ГОСТ 9.403–80
– 3%-ный раствор Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Без изменений	ГОСТ 9.403–80
Стойкость к соляному туману, после 1000 ч	Без изменений	ГОСТ 9.308–85

При испытаниях покрытия в жидких агрессивных средах (вода, 5%-ный р-р NaCl, 3%-ный раствор Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) пластины, защищенные покрытием с обеих сторон и торцов, погружались в сосуды с жидкостями, сосуды герметизировались. Образцы выдерживались при 20°C 500 ч.

При оценке состояния покрытия фиксировались следующие возможные виды его разрушения: пузыри, отслаивание пленки, сморщивание пленки, коррозионное разрушение металла, растворение пленки. После 500 ч экспозиции ни одного из видов разрушения покрытия не было выявлено, что соответствует требованиям ГОСТ 9.401–91.

Определение стойкости к солевому туману – широко используемый метод испытания на коррозию. Испытания проводили в соответствии с ГОСТ 9.308–85 (ISO 9227).

Поскольку, согласно ISO 9227, коррозия не должна проявляться в течении 500 ч, разработанная нами порошковая полиэфирная краска

обеспечивает защитным покрытиям повышенную коррозионную стойкость.

Физико-механические и эксплуатационные свойства для полимерного покрытия на асбестоцементном шифере оценивали по следующим показателям:

- прочность сцепления с основанием;
- прочность на истирание;
- цветоустойчивость;
- стойкость к статическому воздействию воды.

При выборе цветовой гаммы учитывали наиболее востребованные цвета кровельных покрытий (синий, зеленый, бордо), применяемые в строительстве.

Для оценки цветоустойчивости цветного полимерного покрытия на асбестоцементном шифере после воздействия светового излучения (искусственное старение) контролировали: цветовое различие  $\Delta E$  между исходными и облученными образцами; изменение прочности сцепления (адгезия); прочность на истирание (табл. 3).

Суммарный интегральный поток оптического излучения от имитационного излучателя S 1200 на расстоянии 60 см от источника излучения составил 1107,7 Вт/м<sup>2</sup>.

Величина энергии облучения образцов от имитационного излучателя в течение 168 ч составила 670 МДж/м<sup>2</sup>.

Полимерные покрытия асбестоцементных листов после ускоренного климатического старения в течение 168 ч являются цветоустойчи-

выми. Максимальное цветовое различие  $\Delta E$  для цветного полимерного покрытия составляет от 1,47 до 1,67, в соответствии с СТБ 1118, показатель  $\Delta E$  должен не превышать 3,0.

В табл. 3 представлены результаты испытаний асбестоцементных листов с полимерным покрытием. Испытания на истираемость полимерного покрытия асбестоцементных образцов шифера с полимерным покрытием показали, что на контрольных образцах и на образцах, подвергнутых испытаниям, изменения внешнего вида полимерного покрытия отсутствуют.

При испытании на стойкость к статическому воздействию воды изменения цвета полимерного покрытия практически не происходит, цветовое различие  $\Delta E$  составляет 0,01–0,02.

В результате испытаний установлено, что адгезия полимерного покрытия к асбестоцементному листу составляет в среднем 3,2 МПа, характер разрушения на образцах – когезионный.

Результаты проведенных испытаний показали, что полимерное покрытие на асбестоцементном шифере по своим физико-механическим и эксплуатационным показателям соответствует требованиям нормативно-технической документации СТБ 1118-2008 «Листы асбестоцементные волнистые и детали к ним. Изменение № 1» и может применяться для отделки асбестоцементного шифера.

Таблица 3

**Результаты испытаний асбестоцементных волнистых листов с полимерным покрытием**

Наименование показателя, технические требования, характеристики	Значение показателей
Внешний вид (координаты цвета и равномерность окраски)	
Цвет синий: равномерность окраски $\Delta E (\Delta a, \Delta b, \Delta L)$	1,6114; 1,5618; 1,7986; 1,5680
Цвет зеленый: равномерность окраски $\Delta E (\Delta a, \Delta b, \Delta L)$	0,7167; 0,8312; 0,9014; 1,0094
Цвет бордо: равномерность окраски $\Delta E (\Delta a, \Delta b, \Delta L)$	0,8994; 1,0054; 0,9654; 0,2955
Адгезия полимерного покрытия к асбестоцементному листу, МПа	3,2 (когезионный характер разрушения по шиферу)
Прочность цветного покрытия на истирание	Отсутствует нарушение целостности полимерного покрытия
Цветоустойчивость полимерного покрытия после ускоренного климатического старения в течение 168 ч:	
– цвет синий	$\Delta E (\Delta a, \Delta b, \Delta L) = 1,47$
– цвет зеленый	$\Delta E (\Delta a, \Delta b, \Delta L) = 1,67$
– цвет бордо	$\Delta E (\Delta a, \Delta b, \Delta L) = 1,64$
Стойкость к статическому воздействию воды в течение 24 ч, по изменению внешнего вида:	
– цвет синий	$\Delta E (\Delta a, \Delta b, \Delta L) = 0,02$
– цвет зеленый	$\Delta E (\Delta a, \Delta b, \Delta L) = 0,01$
– цвет бордо	$\Delta E (\Delta a, \Delta b, \Delta L) = 0,02$

**Выводы.** Разработаны порошковые полиэфирные краски различных цветов (красного, зеленого, синего, белого и черного) для создания защитных декоративных покрытий на асбестоцементном шифере и металле. Эти покрытия обладают комплексом превосходных свойств: блеском, цветоустойчивостью, светостойкостью, адгезией, прочностью при ударе и растяжении, твердостью, влагостой-

костью, стойкостью к агрессивным жидкостям и соляному туману. Созданные полиэфирные порошковые краски отвечают всем требованиям, предъявляемым к лакокрасочным материалам этого класса. Показано влияние химического строения пигментов, формы и размеров их частиц не только на декоративные свойства покрытий, но и на процесс их светостарения.

### Литература

1. Кухта Т. Н., Прокопчук Н. Р. Климатическая стойкость покрытий из порошковых полиэфирных красок // Материалы. Технологии. Инструменты. 2013. Т. 18, № 4. С. 76–84.
2. Кухта Т. Н., Прокопчук Н. Р. Порошковые полиэфирные краски: состав, технология получения // Материалы. Технологии. Инструменты. 2014. Т. 19, № 3. С. 21–28.
3. Индейкин Е. А., Лейбзон Л. Н., Толмачев И. А. Пигментирование лакокрасочных материалов. Л. Химия, 1986. 160 с.
4. Каневская Е. А. Физико-химические закономерности разрушения полимерных покрытий под действием светового излучения: автореф. ... дис. д-ра хим. наук. М.: ИФХ АН СССР, 1977. 53 с.
5. Андрищенко Е. А. Светостойкость лакокрасочных покрытий. М.: Химия, 1968. 188 с.
6. Яковлев А. Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий. Л.: Химия, 1989. 384 с.
7. Каневская Е. А. Исследование в области техники и технологии лакокрасочных покрытий. М.: НИИТЭХИМ, 1974. Вып. 3. С. 17–31.

### References

1. Kuchta T. N., Prokopchuk N. R. Weather resistance of coatings of polyester powder of paints. *Materialy. Tekhnologii. Instrumenty*. [Materials. Technologies. Tools], 2013, vol. 18, no. 4, pp. 76–84 (in Russian).
2. Kuchta T. N., Prokopchuk N. R. Polyester powder paint: composition, technology of production. *Materialy. Tekhnologii. Instrumenty*. [Materials. Technologies. Tools]. 2014, vol. 19, no. 3, pp. 21–28 (in Russian).
3. Indeykin E. A., Leybzon L. N., Tolmachev I. A. *Pigmentirovaniye lakokrasochnykh materialov* [Pigmentation of paints]. Leningrad, Khimiya Publ., 1986. 160 p.
4. Kanevskaya E. A. *Fiziko-khimicheskiye zakonomernosti razrusheniya polimernykh pokrytiy pod deystviem svetovogo izlucheniya: Avtoref. dis. doktora khim. nauk* [Physical and chemical laws of destruction of polymer coatings due to light exposure. Abstract of thesis Doct. of chem. sci.]. Moscow, 1977. 53 p.
5. Andryushchenko E. A. *Svetostoykost' lakokrasochnykh pokrytiy* [Light fastness coatings]. Moscow, Khimiya Publ., 1968. 188 p.
6. Yakovlev A. D. *Khimiya i tekhnologiya lakokrasochnykh pokrytiy* [Chemistry and technology of coatings]. Leningrad, Khimiya Publ., 1989. 384 p.
7. Kanevskaya E. A. *Issledovaniye v oblasti tekhniki i tekhnologii lakokrasochnykh pokrytiy* [Research in the field of engineering and technology of coatings]. Moscow, NIITEKhim Publ., 1974. Issue 3, pp. 17–31.

### Информация об авторах

**Кухта Татьяна Николаевна** – заведующий отдела полимерных материалов. Институт БелНИИС (220114, г. Минск, ул. Ф.Скорины, 15 Б, Республика Беларусь). E-mail: kuhta\_tatiana@mail.ru

**Прокопчук Николай Романович** – член-корреспондент НАН Беларуси, профессор, доктор химических наук, заведующий кафедрой технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: tnsippm@belstu.by

### Information about the authors

**Kuhta Tatiana Nikolaevna** – Head of the Scientific Research Department of Polymer Materials. Institute BelNIIS (15 B, F. Skoriny str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kuhta\_tatiana@mail.ru

**Prokopchuk Nikolai Romanovich** – corresponding member of the National Academy of Sciences of Belarus, D. Sc. Chemistry, professor, Head of the Department of Technology of Petrochemical Synthesis and Polymer Materials Processing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tnsippm@belstu.by

Поступила 24.02.2015